

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004年9月10日 (10.09.2004)

PCT

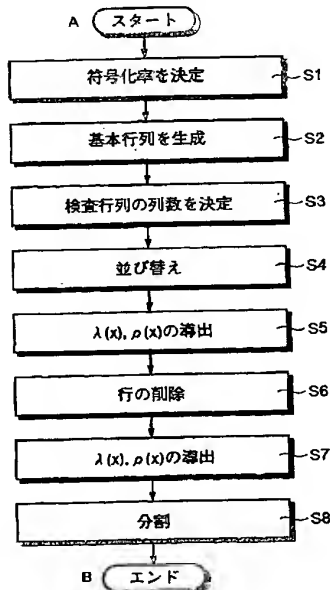
(10) 国際公開番号
WO 2004/077680 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H03M 13/09, 13/19
(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/002399
(22) 国際出願日: 2004年2月27日 (27.02.2004)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ: 特願2003-053162 2003年2月28日 (28.02.2003) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).
(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 松本 渉 (MATSUMOTO, Wataru) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
(74) 代理人: 酒井 宏明 (SAKAI, Hiroaki); 〒1000013 東京都千代田区霞が関三丁目2番6号 東京倶楽部ビルディング 酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW).

[続葉有]

(54) Title: CHECK MATRIX GENERATION METHOD AND CHECK MATRIX GENERATION DEVICE

(54) 発明の名称: 検査行列生成方法および検査行列生成装置



A...START
S1...DECIDE ENCODING RATIO
S2...GENERATE BASIC MATRIX
S3...DECIDE NUMBER OF COLUMNS
OF CHECK MATRIX
S4...REARRANGEMENT
S5...DERIVE $\lambda(x)$, $\rho(x)$
S6...DELETE ROWS
S7...DERIVE $\lambda(x)$, $\rho(x)$
S8...DIVISION
B...END

(57) Abstract: A check matrix for the "Irregular-LDPC code" is generated by step S1 for deciding an encoding ratio, step S2 for generating a basic matrix satisfying a predetermined reference, step S3 for deciding the number of columns of the check matrix, step S4 for substituting the rows of the basic matrix according to a particular relationship equation, step S5 for tentatively searching a weight ensemble by executing the Gaussian approximation method, step S6 for successively deleting the rows of the basic matrix after substitution, starting at the bottom, considering the number of rows after the division, step S7 for searching optimal weight ensemble by executing the Gaussian approximation method based on a predetermined condition after the row deletion, and step S8 for dividing at random the weight of the basic matrix after the row deletion according to this ensemble.

(57) 要約: 「Irregular-LDPC符号」用の検査行列を生成するために、符号化率を決定するステップS1と、所定の基準を満たす基本行列を生成するステップS2と、検査行列の列数を決定するステップS3と、基本行列の行を特定の関係式に基づいて置換するステップS4と、ガウス近似法の実行により重みのアンサンブルを暫定的に探索するステップS5と、分割後の行数を考慮して置換後の基本行列の行を底辺から順に削除するステップS6と、行削除後の所定の条件に基づくガウス近似法の実行により重みの最適なアンサンブルを探索するステップS7と、このアンサンブルに基づいて行削除後の基本行列の重みをランダムに分割するステップS8と、を含むことを特徴とした。



KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

明 細 書

検査行列生成方法および検査行列生成装置

5 技術分野

本発明は、誤り訂正符号として低密度パリティ検査（LDPC：Low-Density Parity-Check）符号を採用した場合における検査行列生成方法および検査行列生成装置に関するものであり、特に、確定的で特性が安定したLDPC符号用検査行列を探索可能な検査行列生成方法および検査行列生成装置に関するものである。

10

背景技術

以下、従来のLDPC符号用検査行列生成方法について説明する。従来のLDPC符号化／復号システムにおいて、送信側の通信装置は符号化器と変調器とを備える構成とし、一方、受信側の装置は復調器と復号器とを備える構成とする。

15 ここでは、従来のLDPC符号用検査行列生成方法を説明する前に、LDPC符号を使用した場合の符号化、復号の流れについて説明する。

まず、送信側の符号化器では、後述する従来の方法で検査行列Hを生成する。そして、以下の条件に基づいて生成行列Gを求める。

G：k×n行列（k：情報長，n：符号語長）

20 $GH^T = 0$ （Tは転置行列）

その後、符号化器では、情報長kのメッセージ（ $m_1 m_2 \cdots m_k$ ）を受け取り、上記生成行列Gを用いて符号語Cを生成する。

$$\begin{aligned} C &= (m_1 m_2 \cdots m_k) G \\ &= (c_1 c_2 \cdots c_n) \quad (\text{ただし、} H(c_1 c_2 \cdots c_n)^T = 0) \end{aligned}$$

25 そして、変調器では、生成した符号語Cに対して、BPSK（Binary Phase Shift Keying），QPSK（Quadrature Phase Shift Keying），多値QAM（Quadrature Amplitude Modulation）などのデジタル変調を行い、送信する。

一方、受信側では、復調器が、通信路を介して受け取った変調信号に対して、BPSK, QPSK, 多値QAMなどのデジタル復調を行い、さらに、復号器が、LDPC符号化された復調結果に対して、「sum-productアルゴリズム」による繰り返し復号を実施し、推定結果（もとの $m_1 m_2 \cdots m_k$ に対応）を出力する。

ここで、従来のLDPC符号用検査行列生成方法を具体的に説明する。LDPC符号用の検査行列としては、たとえば、非特許文献1により以下のような行列が提案されている（第16図参照）。

第16図に示す行列は、「1」と「0」の2値の行列で、「1」の部分を塗りつぶしている。他の部分は全て「0」である。この行列は、1行の「1」の数（これを行の重みと表現する）が4で、1列の「1」の数（これを列の重みと表現する）が3であり、全ての列と行の重みが均一なため、これを一般に「Regular-LDPC符号」と呼んでいる。また、非特許文献1による符号では、たとえば、第16図に示すように、行列を3ブロックに分け、2ブロック目と3ブロック目に対してランダム置換を行っている。

しかしながら、このランダム置換には、所定のルールがないため、より特性の良好な符号を見つけるためには、計算機による時間のかかる探索を行わなければならない。

そこで、たとえば、計算機探索によらなくても確定的に行列を生成でき、比較的安定した良好な特性を示すLDPC符号として、ユークリット幾何符号を用いる方法が、非特許文献2によって提案された。この方法では、規則的なensemble（アンサンブル）で構成された「Regular-LDPC符号」について説明されている。

非特許文献2によれば、有限幾何符号の一種であるユークリット幾何符号EG(2, 2⁶)を用いてLDPC符号の検査行列を生成する方法が提案されており、誤り率10⁻⁴点において、シャノン限界から1.45 dBに接近した特性を得ている。第17図は、たとえば、ユークリット幾何符号EG(2, 2²)の構成を示

す図であり、行、列のそれぞれの重みが4, 4の「Regular-LDPC符号」構造をしている。

したがって、ユークリット幾何符号EG (m, 2^s) の場合、その特性は、以下のように規定される。

- 5 符号長: $n = 2^{2s} - 1$
 冗長ビット長: $n - k = 3^s - 1$
 情報長: $k = 2^{2s} - 3^s$
 最小距離: $d_{\min} = 2^s + 1$
 密度: $r = 2^s / (2^{2s} - 1)$

- 10 第17図を見ても分かるように、ユークリット幾何符号は、各行の「1」の配置が行毎に巡回シフトした構造になっており、符号が容易にかつ確定的に構成できる特長がある。

- 非特許文献2による検査行列の生成方法では、さらに、上記ユークリット幾何符号に基づいて行と列の重みを変更し、行、列を必要に応じて拡張している。たとえば、EG (2, 2^2) の列の重みを1/2に分離する場合、非特許文献2では、1列内に4つある重みを1つ置きに2個ずつ分離する。第18図は、列の重みを4から2に規則的に分離した例を示す図である。

- 一方、上記「Regular-LDPC符号」の特性よりも「Irregular-LDPC符号」の特性の方が良好であることが、非特許文献3により報告された。そして、それは、非特許文献4あるいは非特許文献5によって理論的に解析された。なお、上記「Irregular-LDPC符号」は、列と行の重みがそれぞれあるいはどちらか一方が均一でないLDPC符号を表す。

- 特に、非特許文献5では、繰り返し復号器における入力と出力の対数尤度比 (LLR) がガウス分布に近似できると仮定してLDPC符号の「Sum-Productアルゴリズム」を解析し、良好な行と列の重みのアンサンブルを求めている。

 非特許文献1.

R.G. Gallager. Low-Density Parity Check Codes. M.I.T Press, Cambridge, MA, 1963.

非特許文献 2.

Y. Kou, S. Lin, and M. P. C. Fossorier, "Low Density Parity Check Codes Based on Finite Geometries: A Rediscovery," ISIT 2000, pp. 200, Sorrento, Italy, June 25-30, 2000.

非特許文献 3.

M. G. Luby, M. Mitzenmacher, M. A. Shokrollahi, and D. A. Spielman, "Improved Low-Density Parity-Check Codes Using Irregular Graphs and Belief Propagation," Proceedings of 1998 IEEE International Symposium on Information Theory, pp. 171, Cambridge, Mass., August 16-21, 1998.

非特許文献 4.

T. J. Richardson and R. Urbanke, "The capacity of low-density parity-check codes under message-passing decoding," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 47, No. 2, pp. 599-618, Feb. 2001.

非特許文献 5.

S.-Y. Chung, T. J. Richardson, and R. Urbanke, "Analysis of Sum-Product Decoding of Low-Density Parity-Check Codes Using a Gaussian Approximation," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 47, No. 2, pp. 657-670, Feb. 2001.

20

しかしながら、たとえば、上記非特許文献 5 による従来の LDPC 符号用検査行列生成方法は、行内の「1」の点の数（後述するバリエブルノードの次数配分に相当）と、列内の「1」の点の数（後述するチェックノードの次数配分に相当）と、の両方を変数として、下記の（1）式（rate：符号化率）が最大となるバリエブルノードの次数配分およびチェックノードの次数配分を求めている。すなわち、SNR（Signal to Noise Ratio）が最小となるアンサンブルを線形計画法により探索している。

25

$$\text{rate} = 1 - \frac{\int_0^1 \rho(x) dx}{\int_0^1 \lambda(x) dx} \quad \dots (1)$$

5

そのため、上記「rate」の最大値により得られる検査行列が流動的になり、特性が安定しない、という問題があった。また、従来のLDPC符号用検査行列生成方法は、バリエブルノードの次数配分の導出とチェックノードの次数配分の導出とを所定回数にわたって繰り返し行っているため、探索処理にある程度の時間を要する、という問題もあった。

10

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、確定的で特性が安定し、かつ任意のアンサンブルに対応したLDPC符号用の検査行列を容易に探索可能で、さらに、性能の良好な検査行列生成方法および検査行列生成装置を提供することを目的とする。

15

発明の開示

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明にかかる検査行列生成方法にあつては、列と行の重みまたはどちらか一方が均一でない低密度パリティ検査符号の検査行列を生成するための検査行列生成方法であつて、符号化率を決定する符号化率決定ステップと、「行と列の重みが一定」かつ「サイクル数が6以上」となる基本行列を生成する基本行列生成ステップと、生成した基本行列の行を特定の関係式に基づいて置換する置換ステップと、行削除前の所定の条件に基づくガウス近似法の実行により、低密度パリティ検査符号の行の重みと列の重みのアンサンブルを暫定的に探索する第1の重み探索ステップと、分割後の行数を考慮して、前記置換後の基本行列の行を底辺から順に削除する行削除ステップと、行削除後の所定の条件に基づくガウス近似法の実行により、低密度パリティ検査符号の行の重みと列の重みの最適なアンサンブルを探索する第2の重み探索

25

ステップと、前記最適なアンサンブルに基づいて前記行削除後の基本行列の行および列の重みを所定の手順でランダムに分割する分割ステップと、を含むことを特徴とする。

- この発明によれば、まず、符号化率を決定し、つぎに、たとえば、行と列の重み
5 みが一定かつ最小サイクル数が8となる「整数ラティス構造に基づく基本行列」を生成し、つぎに、生成した基本行列を行列内の重みが列中の上部に配置されるように置換し、つぎに、行削除前の条件に基づくガウス近似法の実行により、Irregular-LDPC符号のアンサンブルを暫定的に探索し、つぎに、分割後の行数を考慮して置換後の基本行列を底辺から順に削除し、つぎに、行削除
10 後の条件に基づくガウス近似法の実行により、Irregular-LDPC符号の最適なアンサンブルを探索し、最後に、最適なアンサンブルに基づいて行削除後の基本行列の重みをランダムに分割する。

図面の簡単な説明

- 15 第1図は、本発明にかかるLDPC符号用検査行列生成方法を示すフローチャートであり、第2図は、LDPC符号化／復号システムを示す図であり、第3図は、 $l(x, y) = m \times x + y + 1$ とし、 $m = 5$ 、 $k = 3$ とした場合のラティス構造を示す図であり、第4図は、傾きsの線を単位とするm個のクラスを示す図であり、第5図は、最小サイクルを8とする集合を設計するためのアルゴリズム
20 を示す図であり、第6図は、 $m = 5$ 、 $k = 3$ とし、第5図に示すアルゴリズムを実行した場合の検索結果を示す図であり、第7図は、基本行列の一例を示す図であり、第8図は、 $m = 353$ 、 $k = 10$ とし、第5図に示すアルゴリズムを実行した場合の検索結果を示す図であり、第9図は、基本行列の置換（並べ替え）手順のアルゴリズムを示す図であり、第10図は、置換後の基本行列の一例を示す
25 図であり、第11図は、最終的な生成関数 $\lambda(x)$ と生成関数 $\rho(x)$ のアンサンブルを示す図であり、第12図は、従来の論文における分割手順を示す図であり、第13図は、基本のランダム系列 $C(i)$ と基本のランダム系列の置換パタ

5 ーン $LB_j(i)$ を示す図であり、第 14 図は、ラテン方陣行列 $L_{ja}(i)$ を示す図であり、第 15 図は、 E_b/N_o と誤り率特性との関係を示す図であり、第 16 図は、従来の LDPC 符号用の検査行列を示す図であり、第 17 図は、ユークリット幾何符号 $EG(2, 2^2)$ の構成を示す図であり、第 18 図は、列の重みを 4 から 2 に規則的に分離した例を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下に、本発明にかかる検査行列生成方法および検査行列生成装置の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

第 1 図は、本発明にかかる LDPC 符号用検査行列生成方法を示すフローチャートである。なお、本実施の形態における LDPC 符号用検査行列生成方法は、たとえば、設定されるパラメータに応じて通信装置内で実行する構成としてもよいし、通信装置外部の他の制御装置（計算機等）で実行することとしてもよい。

15 本実施の形態における LDPC 符号用検査行列生成方法が通信装置外部で実行される場合は、生成済みの LDPC 符号用検査行列が通信装置に格納される。以降の実施の形態では、説明の便宜上、通信装置内で上記方法を実行する場合について説明する。

まず、本実施の形態の LDPC 符号用検査行列生成方法を説明する前に、本実施の形態の LDPC 符号用検査行列生成方法を実現可能な符号化器および復号器の位置付け、および「Irregular-LDPC 符号」用の従来の検査行列生成方法について説明する。

第 2 図は、LDPC 符号化／復号システムを示す図である。第 2 図において、送信側の通信装置は、符号化器 101 と変調器 102 を含む構成とし、受信側の通信装置は、復調器 104 と復号器 105 を含む構成とする。ここで、LDPC 符号を使用した場合の符号化、復号の流れについて説明する。

送信側の符号化器 101 では、後述する本実施の形態の LDPC 符号用検査行

列生成方法で検査行列Hを生成する。そして、以下の条件に基づいて生成行列Gを求める。

$G : k \times n$ 行列 (k : 情報長, n : 符号語長)

$GH^T = 0$ (T は転置行列)

- 5 その後、符号化器101では、情報長 k のメッセージ $(m_1 m_2 \dots m_k)$ を受け取り、上記生成行列 G を用いて符号語 C を生成する。

$C = (m_1 m_2 \dots m_k) G$

$= (c_1 c_2 \dots c_n)$ (ただし、 $H (c_1 c_2 \dots c_n)^T = 0$)

- 10 そして、変調器102では、生成した符号語 C に対して、BPSK, QPSK, 多値QAMなどのデジタル変調を行い、送信する。

- 一方、受信側では、復調器104が、通信路103を介して受け取った変調信号に対して、BPSK, QPSK, 多値QAMなどのデジタル復調を行い、さらに、復号器105が、LDPC符号化された復調結果に対して、「sum-productアルゴリズム」による繰り返し復号を実施し、推定結果(もとの m_1
15 $m_2 \dots m_k$ に対応)を出力する。

- つづいて、非特許文献5によって理論的に解析された、「Irregular-LDPC符号」用の従来の検査行列生成方法について詳細に説明する。ここでは、繰り返し復号器における入力と出力の対数尤度比(LLR)がガウス分布に近似できると仮定してLDPC符号の「Sum-Productアルゴリズム」
20 を解析し、良好な行と列の重みのアンサンブルを求めている。

なお、上記非特許文献5に記述されたLDPC符号用検査行列生成方法であるガウス近似法(Gaussian Approximation)では、前提として、検査行列における行内の「1」の点をバリアブルノードと定義し、列内の「1」の点をチェックノードと定義する。

- 25 まず、チェックノードからバリアブルノードへのLLRメッセージ伝搬を解析する。 $0 < s < \infty$ と $0 \leq t < \infty$ という条件において、以下の関数(2)式を定義する。ただし、 $s = m_{u0}$ は u_0 の平均値であり、 u_0 は分散値 σ_n^2 のガウスノイズ

を含む伝送路を経由して受信した信号の対数尤度比（LLR）であり、 t は所定の繰り返しの時点におけるチェックノードのLLR出力値のアンサンブル平均である。

5

$$f_j(s, t) = \phi^{-1} \left(1 - \left[1 - \sum_{i=2}^{d_i} \lambda_i \phi(s + (i-1)t) \right]^{j-1} \right) \quad \dots (2)$$

$$f(s, t) = \sum_{j=2}^{d_r} \rho_j f_j(s, t)$$

10

なお、 λ_i と ρ_i は、それぞれ次数 i のバリアブルノードとチェックノードに属するエッジの比率を表す。また、 d_i は最大バリアブルノードの次数であり、 d_r は最大チェックノードの次数である。また、上記 $\lambda(x)$ および $\rho(x)$ は、それぞれバリアブルノードおよびチェックノードの次数配分（バリアブルノードと

15 チェックノードの各1行、各1列内の「1」の数を次数と表現する）の生成関数を表し、(3)式および(4)式のように表すことができる。

$$\lambda(x) = \sum_{i=2}^{d_i} \lambda_i x^{i-1} \quad \dots (3)$$

20

$$\rho(x) = \sum_{i=2}^{d_r} \rho_i x^{i-1} \quad \dots (4)$$

また、上記式(2)の $\phi(x)$ は下記(5)式のように定義する。

$$25 \quad \phi(x) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\sqrt{4\pi x}} \int_R \tanh \frac{u}{2} \cdot e^{-\frac{(u-x)^2}{4x}} du & \text{if } x > 0 \\ 1 & \text{if } x \leq 0 \end{cases} \quad \dots (5)$$

そして、上記 (2) 式は、等価的に下記 (6) 式と表すことができる。

$$t_1 = f(s, t_{1-1}) \quad \dots (6)$$

- 5 なお、 t_1 は 1 番目の繰り返し時点におけるチェックノードの LLR 出力値のアンサンブル平均である。

ここで、誤りが 0 となりうる SNR の限界 (threshold) を求めるための条件は、 $1 \rightarrow \infty$ のときに $t_1(s) \rightarrow \infty$ (R^+ と表現する) となることであり、この条件を満たすためには、以下の条件 (7) 式を満たす必要がある。

10

$$t < f(s, t), \text{ 全ての } t \in R^+ \quad \dots (7)$$

つぎに、バリアブルノードからチェックノードへの LLR メッセージ伝搬を解析する。 $0 < s < \infty$ と $0 < r \leq 1$ という条件において、以下の関数 (8) 式を定

- 15 義する。なお、 r の初期値 r_0 は $\phi(s)$ である。

$$h_i(s, r) = \phi \left(s + (i-1) \sum_{j=2}^{d_r} \rho_j \phi(1 - (1-r)^{j-1}) \right) \quad \dots (8)$$

$$h(s, r) = \sum_{i=2}^{d_l} \lambda_i h_i(s, r)$$

20

そして、(8) 式は、等価的に下記 (9) 式と表すことができる。

$$r_1 = h(s, r_{1-1}) \quad \dots (9)$$

- 25 ここで、誤りが 0 となりうる SNR の限界 (threshold) を求めるための条件は、 $r_1(s) \rightarrow 0$ となることであり、この条件を満たすためには、以下の条件 (10) 式を満たす必要がある。

$$r > h(s, r), \text{全ての } r \in (0, \phi(s)) \quad \dots (10)$$

さらに、上記非特許文献5では、上記式を用いて以下の手順でバリエブルノードとチェックノードの最適な次数を探索している（ガウス近似法）。

(1) 生成関数 $\lambda(x)$ とガウスノイズ σ_n が与えられていると仮定し、生成関数 $\rho(x)$ を変数として、前述した(1)式が最大となる点を探索する。なお、この探索における拘束条件は、 $\rho(1) = 1$ と正規化することと、上記(7)式を満たすことである。

(2) 生成関数 $\rho(x)$ とガウスノイズ σ_n が与えられていると仮定し（たとえば、(1)の結果より得られる値）、生成関数 $\lambda(x)$ を変数として、(1)式が最大となる点を探索する。なお、この探索における拘束条件は、 $\lambda(1) = 1$ と正規化することと、上記(10)式を満たすことである。

(3) 最大「rate」を求めるために、上記(1)と上記(2)を繰り返し実行し、生成関数 $\lambda(x)$ と生成関数 $\rho(x)$ のより良好なアンサンブルを線形計画法で探索する。

(4) 最後に、ガウスノイズ σ_n より信号電力を1と正規化して、SNRの限界(threshold)を求める（(11)式参照）。

$$\text{threshold(dB)} = -10 * \log_{10}(2 * \sigma_n^2) \quad \dots (11)$$

しかしながら、上記非特許文献5では、「rate（符号化率）」の最大値により得られる検査行列が流動的になり、設計時の仕様として固定されるrateが変動してしまう、という問題があった。また、上記非特許文献5では、バリエブルノードの次数配分の導出とチェックノードの次数配分の導出とを所定回数にわたって繰り返し行っているため、探索処理にある程度の時間を要する、という問題や、任意のアンサンブル、任意の符号長、任意の符号化率に容易に対応する

ことができない、という問題もあった。

そこで、本実施の形態においては、確定的で特性が安定し、かつ任意のアンサンプル、任意の符号長、任意の符号化率に対応した「Irregular-LDPC符号」用の検査行列を、短時間で容易に探索する方法について説明する（第1図参照）。具体的にいうと、ここでは、後述する基本行列（定義：「行と列の重みが一定」かつ「サイクル数が6以上」）を用いて「Irregular-LDPC符号」用の検査行列を生成する。

本実施の形態のLDPC符号用検査行列生成方法では、まず、符号化率 $rate$ を決定する（ステップS1）。ここでは、一例として、符号化率を $rate = 0.5$ とする。

つぎに、「Irregular-LDPC符号」の検査行列を求めるために必要な基本行列（定義：「行と列の重みが一定」かつ「サイクル数が6以上」）として、たとえば、整数ラティス構造に基づく基本行列を生成する（ステップS2）。LDPC符号を用いた符号化／復号においては、一般的に、2部グラフ上に「サイクル4」および「サイクル6」が少ないほど良好な特性を得ることができる。したがって、LDPC符号としては、「サイクル4」や「サイクル6」といった少ないサイクルの発生を抑制する構造が望ましい。そこで、本実施の形態では、特に、最小サイクルを8とする基本行列を生成する。なお、以下では、整数ラティス構造に基づく基本行列（最小サイクル8）の生成手順について説明するが、これに限らず、基本行列は、上記定義を満たしていれば、Cayleyグラフによる基本行列やRamanujanグラフによる基本行列等、他の行列を用いることとしてもよい。

ここで、整数ラティス構造に基づく基本行列の生成手順について説明する。

(1) まず、整数ラティス構造における点を結ぶ線（点の組み合わせ）の集合を設計する。たとえば、ラティス構造の集合 L を $L = (x, y)$ とする。なお、 x は $0 \leq x \leq k-1$ の整数であり、 y は $0 \leq y \leq m-1$ の整数であり、 k は整数であり、 m は素数である。また、 $l(x, y)$ を、集合 L を点の集合 V へ写像する

ための線形写像とする。第3図は、たとえば、 $l(x, y) = m \times x + y + 1$ とし、 $m=5$ 、 $k=3$ とした場合のラティス構造を示す図である。なお、第3図において、所定の条件を満たす点の組み合わせを線(ブロック)と呼ぶ。たとえば、傾き s ($0 \leq s \leq m-1$) の線は、点 $(0, a)$ を開始点とする $l(x, a + s$
 5 $x \bmod m)$ の線 (a は $0 \leq a \leq m-1$) で構成される。これにより、傾き s の線を単位とする m 個のクラスが生成できる。第4図は、傾き s の線を単位とする m 個のクラスを示す図である。

(2) 第5図に示すアルゴリズムに基づいて最小サイクルを8とする集合を設計する。すなわち、基本行列の列数、行数、列の重み、行の重み、を検索する。なお、第5図においては、 S を傾き s の集合とし、 $B(s)$ を傾き s に対応するクラスの集合とする。

第6図は、 $m=5$ 、 $k=3$ とし、上記アルゴリズムを実行した場合の検索結果を示す図である。なお、 $N = |B|$ は基本行列の列数を表し、 $M = |V|$ は基本行列の行数を表し、 d_r は基本行列の行の重みを表し、 d_c は基本行列の列の重みを表す。また、第7図は、上記アルゴリズムの実行結果、すなわち、基本行列を示す図である。

ただし、基本行列は、後述する行と列の分割を実現するため、比較的大きいサイズに設計する必要がある。たとえば、 $k=10$ 、 $m=353$ として、上記アルゴリズムを実行すると、第8図に示す検索結果が得られる。第8図に示すように、
 20 $d_r=10$ 、 $d_c=7$ 程度であれば、後述する分割処理に対応できる。このように、本実施の形態では、上記ステップS2の処理を実行することによって、整数ラティス構造に基づく基本行列の列数 $N (=2471)$ と、整数ラティス構造に基づく基本行列の行数 $M (=3530)$ を確定する。

つぎに、最終的に求める検査行列(「Irregular-LDPC符号」の検査行列)の列数 N' を決定する(ステップS3)。この時点で、「Irregular-LDPC符号」の検査行列の行数 M' は、 $M' = N' \times (1 - \text{rate})$ により値が確定する。たとえば、 $N' = 6000$ 、 $\text{rate} = 0.5$ の場合、

M' は $M' = 6000 \times 0.5 = 3000$ となる。

- つぎに、上記のように生成した基本行列を、列内の1の位置が列中のできるだけ上部にくるように、第9図に示すアルゴリズムで並べ替える(ステップS4)。
- 第9図は、基本行列の置換(並べ替え)手順のアルゴリズムを示す図である。また、第10図は、置換後の基本行列の一例を示す図である。ここでは、第7図に示す $k=3, m=5$ の基本行列を、第9図に示すアルゴリズムで並べ替えている。
- この並べ替え処理により、後述する行の削除処理を行う場合に、できるだけ重みの大きい列を残すことができ、かつ列内の重みのバリエーションをできるだけ少なくすることができる。
- 10 つぎに、ガウス近似法による最適化を用いて、要求された符号化率に基づく「Irregular-LDPC符号」のアンサンブル(次数配分)を、以下の制約条件式(12)を用いて暫定的に求める(ステップS5)。なお、 γ_i ($i=1, 2, \dots, \max, 2 \leq \gamma_1 < \gamma_2 < \dots < \gamma_{\max}$) は列の重みを表し、 $\mu, \mu+1$ ($2 \leq \mu \leq d_c - 1$) は行の重みを表し、 d_c は基本行列の行の重みを表し、 λ_{γ_i} ($0 \leq \lambda_{\gamma_i} \leq 1$) は列の重み γ_i に属するエッジの比率を表し、 $\rho_{\mu}, \rho_{\mu+1}$ ($0 \leq \rho_{\mu}, \rho_{\mu+1} \leq 1$) は行の重み $\mu, \mu+1$ に属するエッジの比率を表し、 $b_{\mu}, b_{\mu+1}$ は非負の整数を表し、 $\lambda(x)$ は列の重み配分の生成関数を表し、 $\rho(x)$ は行の重み配分の生成関数を表し、 $n_{\mu}, n_{\mu+1}$ は行の重み $\mu, \mu+1$ の行数を表し、 n_{γ_i} は、列の重み γ_i の列数を表す。また、上記 $\lambda(x), \rho(x)$ は式(13)で定義される。
- 20

$$\begin{aligned} \rho(x) &= \rho_{\mu} x^{\mu-1} + (1 - \rho_{\mu}) x^{\mu} \\ b_{\mu} x^{\mu} + b_{\mu+1} x^{\mu+1} &= d_c \end{aligned} \quad \dots (12)$$

$$\begin{aligned} \rho_{\mu_i} &= \frac{\mu \times b_{\mu}}{d_c} \\ \rho_{(\mu+1)_i} &= \frac{(\mu+1) \times b_{(\mu+1)}}{d_c} \end{aligned} \quad \dots (13)$$

25

ここで、列の重み配分の生成関数 $\lambda(x)$ と行の重み配分の生成関数 $\rho(x)$ のアンサンブルを探索するための本実施の形態のガウス近似法の実行手順について説明する。

(1) 符号化率「rate」を固定する(ステップS1)。

- 5 (2) 生成関数 $\lambda(x)$ と生成関数 $\rho(x)$ を同時に変数として扱い、ガウスノイズ σ_n が最大になるように、線形計画法で最適な生成関数 $\lambda(x)$ と生成関数 $\rho(x)$ を探索する(下記(14)式参照)。この探索における拘束条件は、後述する(18)式を満たすことである。

$$\begin{aligned}
 10 \quad h_i(s, r) &= \phi \left(s + (i-1) \sum_{j=2}^{\mu_{\max}} \rho_j \phi(1 - (1-r)^{j-1}) \right) \\
 h(s, r) &= \sum_{i=2}^{\gamma_{\max}} \lambda_i h_i(s, r) \quad \dots (14) \\
 15 \quad \phi(x) &= \begin{cases} 1 - \frac{1}{\sqrt{4\pi x}} \int_R \tanh \frac{\mu}{2} \cdot e^{-\frac{(\mu-x)}{4x}} d\mu, & \text{if } x > 0 \\ 1, & \text{if } x \leq 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

なお、上記 s は、送信信号として $\{-1, 1\}$ の2値信号が出力され、ガウス通信路を通して受信した信号の対数尤度比(LLR)の平均値であり、 $s = 2 / \sigma_n^2$ により導出できる。

- 20 このように、本実施の形態では、所定の条件を満たす生成関数 $\lambda(x)$ と生成関数 $\rho(x)$ を1回の線形計画法で求めることとしたため、非特許文献5のように、生成関数 $\lambda(x)$ の導出と生成関数 $\rho(x)$ の導出を繰り返し実行し、双方の最適値を求める方法よりも、容易かつ短時間に、確定的でかつ特性が安定したアンサンブルを生成できる。

- 25 つぎに、上記ステップS5で求めた b_{μ} , $b_{\mu+1}$, μ , $\mu+1$ にしたがって後述する行の分割処理を実行した後の行数を $M' (= 3000)$ とし、基本行列の行数を $M (= 3530)$ とした場合、下記(15)式に示す行数を、

置換後の基本行列の底辺から順に削除する（ステップS6）。この例では、 $(5\ 3\ 0 - 3\ 0\ 0\ 0) / (1 + 0) = 5\ 3\ 0$ 行が削除の対象となる。行削除後の行列は、列の重みのセットが $\{d_1, d_2, \dots, d_v\}$ となる。

$$5 \quad \left[\frac{M - M'}{b_{-\mu} + b_{-(\mu+1)}} \right] \quad \dots (15)$$

つぎに、上記本実施の形態のガウス近似法による最適化を用いて、要求された符号化率に基づく「Irregular-LDPC符号」のアンサンプル（次数配分）を、以下の制約条件式（16）、（17）、（18）、（19）を用いて
10 求める（ステップS7）。なお、（16）式の $a(\beta)_{i,j}$ で示される行列 $\beta = \{2, 3, \dots, d_v\}$ は、（16）式を満たす全ての要素を含む非負の整数 $I(\beta) \times L$ の行列を表す。また、（17）式の $A(\beta)_{i,j}$ で示される行列は、非負の整数 $I \times I$ の正方行列を表す。

$$15 \quad \begin{bmatrix} a(2)_{1,1} & a(2)_{1,2} & \dots & a(2)_{1,\max} \\ a(2)_{2,1} & a(2)_{2,2} & \dots & a(2)_{2,\max} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a(2)_{I(2),1} & a(2)_{I(2),2} & \dots & a(2)_{I(2),\max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \vdots \\ \gamma_{\max} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ \vdots \\ 2 \end{bmatrix}$$

$$20 \quad \begin{bmatrix} a(3)_{1,1} & a(3)_{1,2} & \dots & a(3)_{1,\max} \\ a(3)_{2,1} & a(3)_{2,2} & \dots & a(3)_{2,\max} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a(3)_{I(3),1} & a(3)_{I(3),2} & \dots & a(3)_{I(3),\max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \vdots \\ \gamma_{\max} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ 3 \\ \vdots \\ 3 \end{bmatrix}$$

$$\vdots$$

$$25 \quad \begin{bmatrix} a(d_r)_{1,1} & a(d_r)_{1,2} & \dots & a(d_r)_{1,\max} \\ a(d_r)_{2,1} & a(d_r)_{2,2} & \dots & a(d_r)_{2,\max} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a(d_r)_{I(\beta),1} & a(d_r)_{I(\beta),2} & \dots & a(d_r)_{I(\beta),\max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \vdots \\ \gamma_{\max} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_v \\ d_v \\ \vdots \\ d_v \end{bmatrix} \quad \dots (16)$$

$$\begin{matrix}
 5 & \left[\begin{array}{ccccc} A(\beta)_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & A(\beta)_2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & A(\beta)_I \end{array} \right] & \cdots (17)
 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix}
 10 & \frac{\int_0^1 \rho(x)}{\int_0^1 \lambda(x)} = 1 - \text{rate} \\
 & \lambda(1) = 1, \rho(1) = 1 \\
 & r > h(s, r), \text{ 全ての } r \in (0, \phi(s))
 \end{matrix} \quad \cdots (18)$$

$$\begin{matrix}
 15 & \sum_{\beta=2}^{d_v} \sum_{i=1}^I A(\beta)_i = N' \\
 & n_{-}\gamma_i = \sum_{\beta=2}^{d_v} \sum_{i=1}^I A(\beta)_i \cdot a_{i,j} \\
 & \lambda_{-}\gamma_i = \frac{\gamma_i \times n_{-}\gamma_i}{M' \times d_c} \quad \cdots (19) \\
 & b_{-}\mu \times \mu + b_{-}(\mu+1) \times (\mu+1) = d_c \\
 & n_{-}\mu = b_{-}\mu \times M', n_{-}(\mu+1) = b_{-}(\mu+1) \times M' \\
 & \rho_{-}\mu = \frac{\mu \times n_{-}\mu}{M' \times d_c}, \rho_{-}(\mu+1) = \frac{(\mu+1) \times n_{-}(\mu+1)}{M' \times d_c}
 \end{matrix}$$

20

第11図は、上記の手順でアンサンプルを調整した場合の、ステップS7における最終的な生成関数 $\lambda(x)$ と生成関数 $\rho(x)$ のアンサンプルを示す図である。

最後に、置換後の基本行列における1行あるいは1列の分割手順(ステップS8)について説明する。たとえば、分割手順に関して、非特許文献2では、規則的に分割する方法を提示している。第12図は、上記論文における分割手順を示す図である。まず、第12図に示すように行列のナンバリングを行う。ここでは、

25

列番号を左端から順に 1, 2, 3, ... とし、行番号を上から順に 1, 2, 3, ... とする。そして、たとえば、3 2 点×1 列を 8 点×4 列に分割する場合、下記 (20) 式にしたがって規則的に分割する。

$$5 \quad S_m(n) = B_1(m + 4 * n) \quad \dots (20)$$

なお、 $m = 1, 2, 3, 4$ とし、 $n = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ とし、1 は EG (2, 2^5) の列番号を表す。また、 $B_1(x)$ は EG (2, 2^5) の 1 列目の「1」の位置を表し、 $S_m(n)$ は分割後の行列の m 列目の「1」の位置を表す。

具体的にいうと、EG (2, 2^5) における 1 列中の「1」の位置を示す行番号は、

$$B_1(x) = \{1 \ 32 \ 114 \ 136 \ 149 \ 223 \ 260 \ 382 \ 402 \ 438 \ 467 \ 507 \ 574 \ 579 \ 588 \ 62 \ 2 \ 634 \ 637 \ 638 \ 676 \ 717 \ 728 \ 790 \ 851 \ 861 \ 879 \ 947 \ 954 \ 971 \ 977 \ 979 \ 998\}$$

15 となり、その結果、分割後の行列における 1～4 列目の「1」の位置を示す行番号は、 $B_1(x)$ から「1」の番号が規則的に抽出され、

$$S_1(n) = \{1 \ 149 \ 402 \ 574 \ 634 \ 717 \ 861 \ 971\}$$

$$S_2(n) = \{32 \ 223 \ 438 \ 579 \ 637 \ 728 \ 879 \ 977\}$$

$$S_3(n) = \{114 \ 260 \ 467 \ 588 \ 638 \ 790 \ 947 \ 979\}$$

$$20 \quad S_4(n) = \{136 \ 382 \ 507 \ 622 \ 676 \ 851 \ 954 \ 998\}$$

となる。すなわち、3 2 点×1 列が 8 点×4 列に分割される。

一方、本発明における置換後の基本行列の分割処理は、上記のように規則的に分割するのではなく、 $B_1(x)$ から「1」の番号をランダムに抽出する（後述するランダム分割の具体例を参照）。なお、この抽出処理は、ランダム性が保持されるのであればどのような方法を用いてもよい。

25 これにより、分割後の行列の m 列目の「1」の位置の一例を $R_m(n)$ とした場合、 $R_m(n)$ は、たとえば、

$$R_1(n) = \{1 \ 114 \ 574 \ 637 \ 851 \ 879 \ 977 \ 979\}$$

$$R_2(n) = \{32 \ 136 \ 402 \ 467 \ 588 \ 728 \ 861 \ 971\}$$

$$R_3(n) = \{149 \ 260 \ 382 \ 438 \ 579 \ 638 \ 717 \ 998\}$$

$$R_4(n) = \{223 \ 507 \ 622 \ 634 \ 676 \ 790 \ 947 \ 954\}$$

5 となる。

ここで、上記ランダム分割の一例、すなわち、上記「乱数系列のラテン方阵を用いた分割方法」を詳細に説明する。ここでは、ランダム分割を行う場合のランダム系列を容易かつ確定的に生成する。この方法による利点は、送信側と受信側が同じランダム系列を生成できることにある。これは、現実のシステムではきわめて重要となる。また、符号特性の条件が正確に規定できる、という利点もある。

(1) 基本のランダム系列を作成する。

以下に、ランダム系列作成の一例を記述する。ここでは、便宜上、ユークリット幾何符号 $EG(2, 2^5)$ を用いて説明する。ユークリット幾何符号 $EG(2, 2^5)$ の場合、1行に存在する「1」の数は $2^5 = 32$ 個である。

15 P を $P \geq d_v = 2^5$ を満たす最小の素数とした場合、たとえば、 $d_v = 2^5$ のときは $P = 37$ となる。ここで、系列長 $P - 5 = 32$ の基本のランダム系列 $C(i)$ を (21) 式にしたがって作成する。なお、 d_v は列の最大重みを表す。したがって、ユークリット幾何符号以外を基本行列に選んだ場合であっても、その基本行列の d_v を用いれば、この分割処理を適用できる。

$$20 \quad C(1) = 1$$

$$C(i+1) = G_0 \times C(i) \mod P \quad \dots (21)$$

ただし、 $i = 0, 1, \dots, P-2$ とし、 G_0 はガロア体 $GF(P)$ の原始元である。その結果、 $C(i)$ は、

$$25 \quad C(i) = \{1 \ 2 \ 4 \ 8 \ 16 \ 32 \ 27 \ 17 \ 34 \ 31 \ 25 \ 13 \ 26 \ 15 \ 30 \ 23 \\ 9 \ 18 \ 36 \ 35 \ 33 \ 29 \ 21 \ 5 \ 10 \ 20 \ 3 \ 6 \ 12 \ 24 \ 11 \ 22 \\ 7 \ 14 \ 28 \ 19\}$$

となる。

(2) 系列長が $d_v = 2^5 = 32$ となるように、32より大きい数を削除する。

$C(i) = \{1\ 2\ 4\ 8\ 16\ 32\ 27\ 17\ 31\ 25\ 13\ 26\ 15\ 30\ 23\ 9\ 18$
 $29\ 21\ 5\ 10\ 20\ 3\ 6\ 12\ 24\ 11\ 22\ 7\ 14\ 28\ 19\}$

(3) 以下の (2.2) 式で置換パターン $LB_j(i)$ を作成する。

$$5 \quad LB_j(i) = ((j \times i) \bmod P) + 1$$

$$j = 1, 2, \dots, d_v$$

$$i = 1, 2, \dots, P-1 \quad (2.2)$$

なお、 $LB_j(i)$ も d_v より大きい数字は削除する。第13図は、基本のランダム系列 $C(i)$ と基本のランダム系列の置換パターン $LB_j(i)$ を示す図である。

10 .

(4) q 列 i 行で j 番目のラテン方陣行列 $L_{jq}(i)$ を以下の (2.3) 式で算出することによって、分割処理を行う。このとき、ステップS6の削除処理によって、列の重み d_{β} が $d_{\beta} < d_v$ の場合には、 d_{β} 以上の数字を $L_{jq}(i)$ の要素から間引く。

$$15 \quad L_{jq}(i) = C(LB_j(((q+i-2) \bmod d_v) + 1))$$

$$j = 1, 2, \dots, d_v$$

$$i = 1, 2, \dots, d_v$$

$$q = 1, 2, \dots, d_v \quad (2.3)$$

第14図は、ラテン方陣行列 $L_{jq}(i)$ を示す図である。このラテン方陣行列

20 $L_{jq}(i)$ は、拡張する対象の行列の $j \times 32 + q$ 列目の分割パターンを決める。たとえば、削除により短縮された $EG(2, 2^5)$ の670列目 $g_{670}(1)$ を

$g_{670}(1) = \{28\ 48\ 84\ 113\ 153\ 220\ 225\ 234\ 268\ 280\ 283\ 284\ 322\ 363\ 374$
 $436\ 497\ 507\ 525\ 593\ 600\ 617\ 623\ 625\ 644\ 670\ 701\ 783\ 805\ 818\ 892\ 929\}$

とし、これを重み6の5列と重み2の1列に分割する。対応するラテン方陣 L_{jq}

25 (i) は $20 \times 32 + 30 = 670$ であるため、

$L_{21,30}(i) = \{13\ 19\ 9\ 10\ 16\ 24\ 25\ 28\ 23\ 5\ 8\ 12\ 31\ 14\ 30\ 21\ 4\ 6\ 17\ 7\ 1$
 $5\ 29\ 2\ 3\ 27\ 22\ 26\ 18\ 1\ 20\ 32\ 11\}$

となる。結果として、分割パターンは以下のようになる。

$$\begin{aligned} g_{670,1}(1) &= g_{670}(L_{21,30}(1)) \\ &= \{322 \ 525 \ 268 \ 280 \ 436 \ 625\} \quad i = 1, 2, \dots, 6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_{670,2}(1) &= g_{670}(L_{21,30}(1)) \\ &= \{644 \ 783 \ 623 \ 153 \ 234 \ 284\} \quad i = 7, 8, \dots, 12 \end{aligned}$$

5

$$\begin{aligned} g_{670,3}(1) &= g_{670}(L_{21,30}(1)) \\ &= \{892 \ 363 \ 818 \ 600 \ 113 \ 220\} \quad i = 13, 14, \dots, 16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_{670,4}(1) &= g_{670}(L_{21,30}(1)) \\ &= \{497 \ 225 \ 374 \ 805 \ 48 \ 84\} \quad i = 17, 18, \dots, 24 \end{aligned}$$

10

$$\begin{aligned} g_{670,5}(1) &= g_{670}(L_{21,30}(1)) \\ &= \{701 \ 617 \ 670 \ 507 \ 28 \ 593\} \quad i = 25, 26, \dots, 30 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_{670,6}(1) &= g_{670}(L_{21,30}(1)) \\ &= \{929 \ 283\} \quad i = 31, 32 \end{aligned}$$

一般化すると、 $g_{c,q}(1)$ のためのラテン方阵の要素 $L_{j,q}(i)$ は、下記 (2

15 4) 式で決定する。

$$\begin{aligned} j &= \lceil c/d_v \rceil \\ g &= ((c-1) \bmod d_v) + 1 \end{aligned} \quad \dots (24)$$

以下では、上記で説明したLDPC符号の特性を比較する。第15図は、Eb/N0 (情報1ビットあたりの信号電力対ノイズ電力比) と誤り率特性 (BER) との関係を示す図である。なお、復号法は「Sum-Productアルゴリズム」である。この特性は、第11図に示すアンサンブルを使用したものであり、非特許文献2のように規則的に分割した場合と、乱数系列のラテン方阵による分割処理を実行した場合と、の特性比較を示す。

25 第15図から明らかなように、非特許文献2のような規則的な分割では、「Irregular-LDPC符号」であっても大幅な改善は見込めないが、本実施の形態のランダム分割を実施すると、ループの発生する確率が大幅に減るので

性能が画期的に改善される。

このように、本実施の形態においては、まず、符号化率を決定し、つぎに、行と列の重みが一定かつ最小サイクル数が8となる「整数ラティス構造に基づく基本行列」を生成し、つぎに、生成した基本行列を特定の関係式に基づいて置換し、

5 つぎに、行削除前の条件に基づくガウス近似法の実行により、Irregular-LDPC符号のアンサンブルを暫定的に探索し、つぎに、分割後の行数を考慮して置換後の基本行列を底辺から順に削除し、つぎに、行削除後の条件に基づくガウス近似法の実行により、Irregular-LDPC符号の最適なアンサンブルを探索し、最後に、このアンサンブルに基づいて行削除後の基本行列の

10 重みを所定の手順でランダムに分割する。これにより、確定的で特性が安定し、かつ任意のアンサンブル、任意の符号長、任意の符号化率に対応した「Irregular-LDPC符号」用の検査行列を、短時間で容易に生成できる。

以上、説明したとおり、本発明によれば、まず、符号化率を決定し、つぎに、行と列の重みが一定かつサイクル数が6以上となる基本行列を生成し、つぎに、

15 生成した基本行列を特定の関係式に基づいて置換し、つぎに、行削除前の条件に基づくガウス近似法の実行により、Irregular-LDPC符号のアンサンブルを暫定的に探索し、つぎに、分割後の行数を考慮して置換後の基本行列を底辺から順に削除し、つぎに、行削除後の条件に基づくガウス近似法の実行により、Irregular-LDPC符号の最適なアンサンブルを探索し、最後に、

20 この最適なアンサンブルに基づいて行削除後の基本行列の重みをランダムに分割する。これにより、確定的で特性が安定し、かつ任意のアンサンブル、任意の符号長、任意の符号化率に対応した「Irregular-LDPC符号」用の検査行列を、短時間で容易に生成できる、という効果を奏する。

25 産業上の利用可能性

以上のように、本発明にかかる検査行列生成方法および検査行列生成装置は、誤り訂正符号として低密度パリティ検査 (LDPC: Low-Density Parity-Check

) 符号を採用する通信システムに有用であり、特に、確定的で特性が安定したLDPC符号用検査行列を探索する通信装置として適している。

請 求 の 範 囲

1. 列と行の重みまたはどちらか一方が均一でない低密度パリティ検査符号の検査行列を生成するための検査行列生成方法において、
 - 5 符号化率を決定する符号化率決定ステップと、
「行と列の重みが一定」かつ「サイクル数が6以上」となる基本行列を生成する基本行列生成ステップと、
最終的に求める検査行列の列数および行数を決定する行列数決定ステップと、
生成した基本行列の行を特定の関係式に基づいて置換する置換ステップと、 - 10 行削除前の所定の条件に基づくガウス近似法の実行により、低密度パリティ検査符号の行の重みと列の重みのアンサンブルを暫定的に探索する第1の重み探索ステップと、
分割後の行数（最終的に求める検査行列の行数）を考慮して、前記置換後の基本行列の行を底辺から順に削除する行削除ステップと、 - 15 行削除後の所定の条件に基づくガウス近似法の実行により、低密度パリティ検査符号の行の重みと列の重みの最適なアンサンブルを探索する第2の重み探索ステップと、
前記最適なアンサンブルに基づいて前記行削除後の基本行列の行および列の重みを所定の手順でランダムに分割する分割ステップと、 - 20 を含むことを特徴とする検査行列生成方法。
2. 前記「行と列の重みが一定」かつ「サイクル数が6以上」となる基本行列として、「行と列の重みが一定」かつ「最小サイクル数が8」となる整数ラティス構造に基づく基本行列を生成することを特徴とする請求の範囲第1項に記載の検査行列生成方法。- 25
- 3. 前記置換ステップで用いる特定の関係式は、行列内の重みが列中の上部に

配置されるように置換可能な式とすることを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載の検査行列生成方法。

4. 前記置換ステップで用いる特定の関係式は、行列内の重みが列中の上部に
5 配置されるように置換可能な式とすることを特徴とする請求の範囲第 2 項に記載の検査行列生成方法。

5. 前記ガウス近似法では、符号化率を固定した状態で、かつガウスノイズの分散値が最大になるように、行の重みと列の重みの最適なアンサンブルを 1 回の
10 線形計画法で探索することを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載の検査行列生成方法。

6. 前記ガウス近似法では、符号化率を固定した状態で、かつガウスノイズの分散値が最大になるように、行の重みと列の重みの最適なアンサンブルを 1 回の
15 線形計画法で探索することを特徴とする請求の範囲第 2 項に記載の検査行列生成方法。

7. 前記分割ステップでは、基本のランダム系列のラテン方陣を作成し、当該ラテン方陣に基づいて、前記行削除後の基本行列における各行および各列から重
20 み「1」を抽出することにより、各列および各行をランダムに分割することを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載の検査行列生成方法。

8. 前記分割ステップでは、基本のランダム系列のラテン方陣を作成し、当該ラテン方陣に基づいて、前記行削除後の基本行列における各行および各列から重
25 み「1」を抽出することにより、各列および各行をランダムに分割することを特徴とする請求の範囲第 2 項に記載の検査行列生成方法。

9. 前記分割ステップでは、基本のランダム系列のラテン方陣を作成し、当該ラテン方陣に基づいて、前記行削除後の基本行列における各行および各列から重み「1」を抽出することにより、各列および各行をランダムに分割することを特徴とする請求の範囲第3項に記載の検査行列生成方法。

5

10. 前記分割ステップでは、基本のランダム系列のラテン方陣を作成し、当該ラテン方陣に基づいて、前記行削除後の基本行列における各行および各列から重み「1」を抽出することにより、各列および各行をランダムに分割することを特徴とする請求の範囲第4項に記載の検査行列生成方法。

10

11. 前記分割ステップでは、基本のランダム系列のラテン方陣を作成し、当該ラテン方陣に基づいて、前記行削除後の基本行列における各行および各列から重み「1」を抽出することにより、各列および各行をランダムに分割することを特徴とする請求の範囲第5項に記載の検査行列生成方法。

15

12. 前記分割ステップでは、基本のランダム系列のラテン方陣を作成し、当該ラテン方陣に基づいて、前記行削除後の基本行列における各行および各列から重み「1」を抽出することにより、各列および各行をランダムに分割することを特徴とする請求の範囲第6項に記載の検査行列生成方法。

20

13. 列と行の重みまたはどちらか一方が均一でない低密度パリティ検査符号の検査行列を生成する検査行列生成装置において、

符号化率を決定する符号化率決定手段と、

「行と列の重みが一定」かつ「サイクル数が6以上」となる基本行列を生成する基本行列生成手段と、

25

生成した基本行列の行を特定の関係式に基づいて置換する置換手段と、

行削除前の所定の条件に基づくガウス近似法の実行により、低密度パリティ検

査符号の行の重みと列の重みのアンサンブルを暫定的に探索する第1の重み探索手段と、

分割後の行数を考慮して、前記置換後の基本行列の行を底辺から順に削除する行削除手段と、

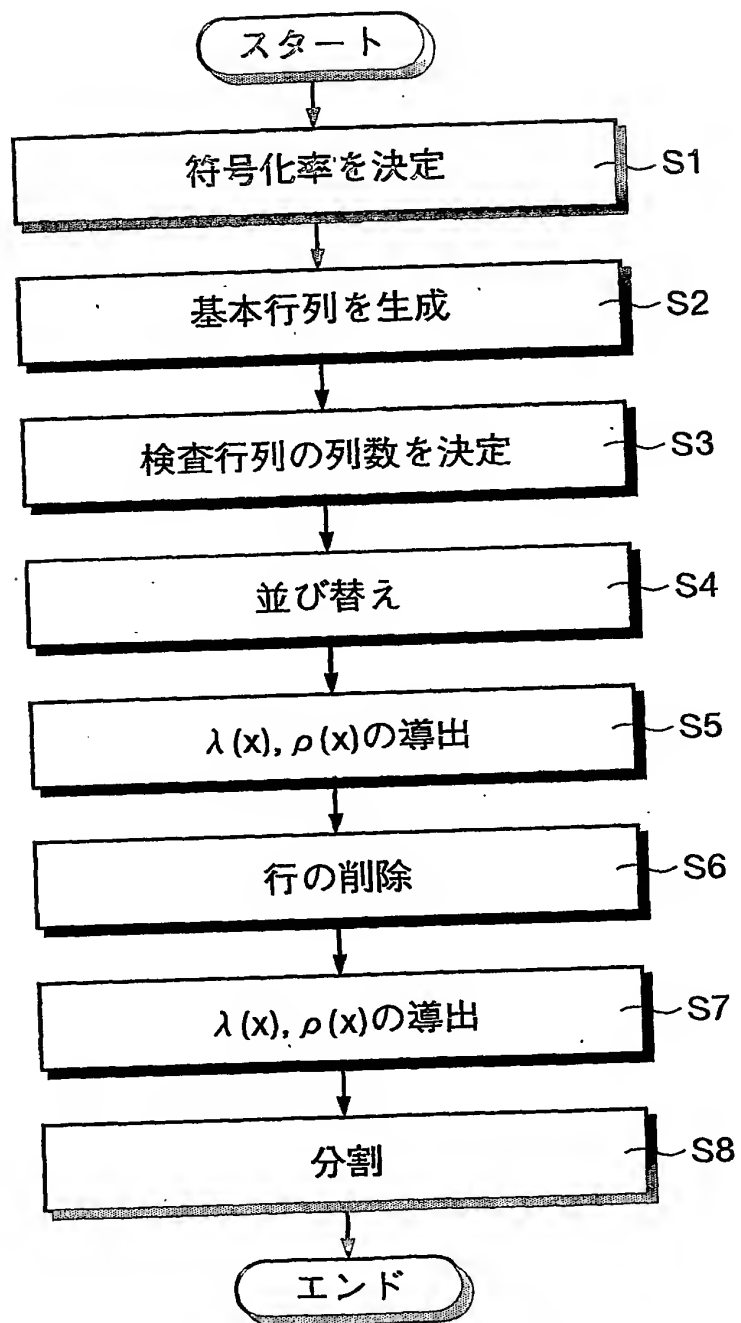
- 5 行削除後の所定の条件に基づくガウス近似法の実行により、低密度パリティ検査符号の行の重みと列の重みの最適なアンサンブルを探索する第2の重み探索手段と、

前記最適なアンサンブルに基づいて前記行削除後の基本行列の行および列の重みを所定の手順でランダムに分割する分割手段と、

- 10 を備えることを特徴とする検査行列生成装置。

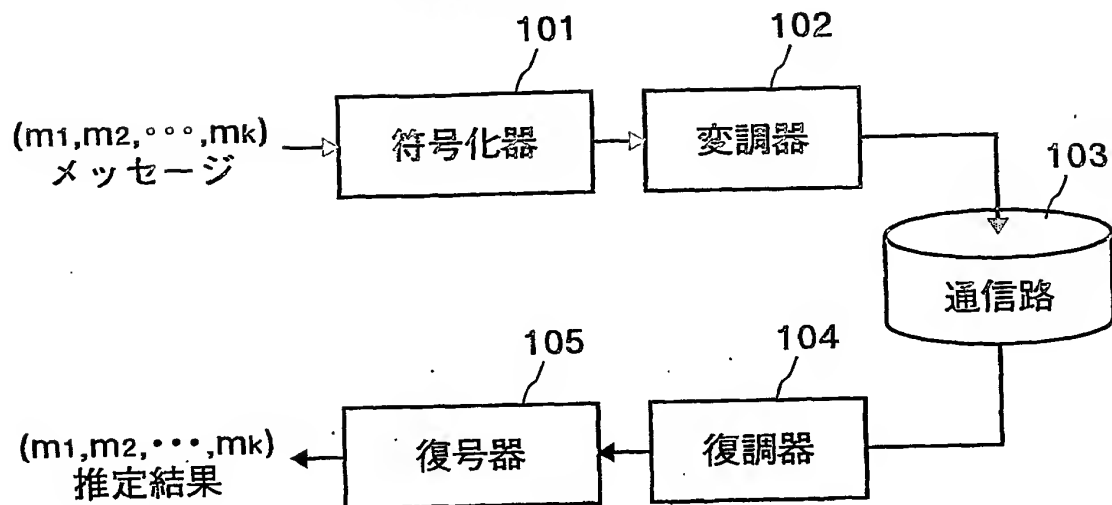
1/10.

第1図

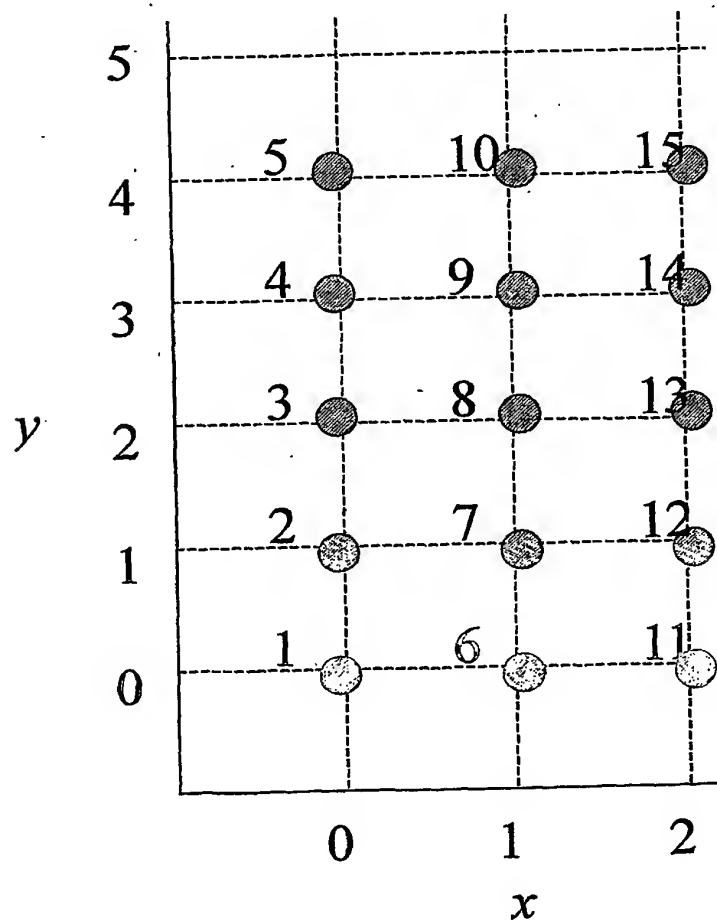


2/10

第2図



第3図



第4図

	s=0	s=1	s=2	s=3	s=4
クラス	{1,6,11}	{1,7,13}	{1,8,15}	{1,9,12}	{1,10,14}
	{2,7,12}	{2,8,14}	{2,9,11}	{2,10,13}	{2,6,15}
	{3,8,13}	{3,9,15}	{3,10,12}	{3,6,14}	{3,7,11}
ブロック	{4,9,14}	{4,10,11}	{4,6,13}	{4,7,15}	{4,8,12}
	{5,10,15}	{5,6,12}	{5,7,14}	{5,8,11}	{5,9,13}

第5図

s=0, S={s}, B'=B(s), S'={1,2,...,m-1}.
While S'≠empty set
 s=s+1
 if g(V,B' ∪ B(s))=8
 S=S ∪ {s}
 S'=S' \ {s}
 B'=B' ∪ B(s)
 else
 S'=S' \ {s}
 end
end

第6図

k	m	S	N= B	M= V	(dv,dc)
3	5	0,1	10	15	(3,2)

4/10

第7図

p_1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
p_2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
p_3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
p_4	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
p_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
p_6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
p_7	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
p_8	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
p_9	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
p_{10}	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
p_{11}	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
p_{12}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
p_{13}	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
p_{14}	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
p_{15}	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0

第8図

k	m	S	$N= B $	$M= V $	(dv, dc)
10	353	0,1,10,11,23,24,224	2471	3530	(10,7)

第9図

for $i = 1$ to $|V|$

$$R_{k*((i-1) \bmod m) + \lfloor (i-1)/m \rfloor + 1} = R_i$$

end

第10図

1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0	1	0	0

第11図

Rate	0.5		
	x	λx	No.
	2	0.28647619	3008
	3	0.264571429	1852
	4	0.001142857	6
	6	0.138285714	484
	10	0.30952381	650
	x	ρx	No.
	7	1	3000
σ_{GA}	0.940358043		

[illegible]

第13図

GO 2

C(1)	1
C(2)	2
C(3)	4
C(4)	8
C(5)	16
C(6)	32
C(7)	27
C(8)	17
C(9)	31
C(10)	25
C(11)	13
C(12)	26
C(13)	15
C(14)	30
C(15)	23
C(16)	9
C(17)	18
C(18)	29
C(19)	21
C(20)	5
C(21)	10
C(22)	20
C(23)	3
C(24)	6
C(25)	12
C(26)	24
C(27)	11
C(28)	22
C(29)	7
C(30)	14
C(31)	28
C(32)	19

J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
LB(1)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
LB(2)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	14	17	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	
LB(3)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	7	11	2	5	8	11	31	16	20	23	26	29	32	22	1	4	7	10	13	16	19	22	
LB(4)	4	8	12	16	20	24	28	32	8	3	18	23	15	19	23	27	11	15	2	6	10	14	18	9	26	30	24	1	5	9	13	17	
LB(5)	5	10	15	20	25	30	5	3	17	13	29	10	28	10	1	6	28	14	21	26	31	21	4	20	14	19	14	29	26	2	7	12	
LB(6)	6	12	18	24	30	5	12	11	26	23	3	22	4	24	16	22	8	32	3	9	15	6	27	7	2	8	4	20	18	32	1	7	
LB(7)	7	14	21	28	3	11	19	7	6	14	9	17	1	31	1	25	13	22	29	20	28	13	31	27	23	31	11	10	25	32	2		
LB(8)	8	16	24	32	8	17	26	27	16	16	25	21	30	15	9	17	5	31	4	12	4	13	22	18	15	12	21	2	2	18	26	29	
LB(9)	9	18	27	3	13	23	3	6	25	26	10	8	6	29	24	12	22	12	23	32	25	20	8	5	3	1	11	30	31	11	20	24	
LB(10)	10	20	30	7	18	29	10	14	6	9	21	20	19	6	2	28	2	30	5	15	9	5	31	28	27	16	16	28	12	15	27	8	14
LB(11)	11	22	2	11	23	4	17	22	15	19	32	32	20	17	7	19	11	24	18	30	27	17	16	16	16	16	28	12	15	27	8	14	
LB(12)	12	24	5	15	28	10	24	30	24	29	6	7	8	11	32	23	16	29	6	1	14	12	3	4	5	18	3	7	20	2	9		
LB(13)	13	26	8	19	1	16	31	1	5	2	17	19	21	25	10	2	13	10	25	21	18	19	26	27	29	31	8	31	28	13	27	4	
LB(14)	14	28	11	23	6	22	1	9	14	12	28	31	10	2	25	18	30	28	7	4	3	4	12	14	17	20	25	22	20	6	21	31	
LB(15)	15	30	14	27	11	28	8	17	23	22	2	6	23	18	3	13	10	9	26	24	24	26	21	1	5	9	15	13	12	28	15	26	
LB(16)	16	32	17	31	16	3	15	25	32	13	15	18	12	30	18	29	27	27	8	7	8	11	7	25	30	24	5	4	22	9	21		
LB(17)	17	1	20	2	21	9	22	4	4	5	24	30	25	7	11	8	7	8	27	27	29	18	30	12	18	13	32	32	25	15	3	16	
LB(18)	18	3	23	6	26	15	28	12	13	15	8	5	1	21	26	24	24	26	9	10	13	3	16	23	6	2	22	23	17	8	28	11	
LB(19)	19	5	26	10	31	21	6	20	22	25	20	17	14	12	4	3	4	7	28	30	18	25	2	10	31	28	12	14	9	1	22	6	
LB(20)	20	7	29	14	4	27	13	28	31	8	31	29	27	26	19	19	21	25	10	13	2	10	25	21	19	17	2	5	1	31	16	1	
LB(21)	21	9	32	18	9	2	20	7	3	18	5	4	3	12	14	1	6	29	16	23	32	11	8	7	6	29	24	30	24	10	28		
LB(22)	22	11	1	22	14	8	27	15	12	28	16	16	17	27	30	18	24	11	19	7	17	20	32	32	32	32	19	15	22	17	4	23	
LB(23)	23	13	4	26	19	14	4	23	21	1	27	28	29	31	5	9	15	5	30	2	28	2	6	19	20	21	9	6	14	10	29	18	
LB(24)	24	15	7	30	24	20	11	31	30	11	1	3	5	8	20	25	32	23	12	22	12	24	29	6	8	10	26	25	6	3	23	13	
LB(25)	25	17	10	1	29	26	18	2	2	21	12	15	18	22	13	4	12	4	31	5	17	9	15	30	21	25	16	16	27	26	17	8	
LB(26)	26	19	13	5	2	32	25	10	11	31	23	27	31	13	28	20	29	22	13	25	1	31	1	17	9	14	6	7	19	19	11	3	
LB(27)	27	21	16	9	7	1	32	18	20	4	8	2	7	27	6	15	9	3	32	8	22	16	24	4	22	3	23	26	11	12	5	30	
LB(28)	28	23	19	13	12	7	2	26	29	14	19	14	20	4	21	31	26	21	14	28	6	1	10	28	10	29	13	17	3	5	30	25	
LB(29)	29	25	22	17	17	13	9	5	1	24	30	26	9	18	14	10	6	2	15	11	27	23	18	15	23	18	3	8	32	28	24	20	
LB(30)	30	27	25	21	22	19	16	13	10	7	4	1	22	32	29	26	23	20	16	31	11	8	5	2	11	7	30	27	24	21	18	15	
LB(31)	31	29	28	25	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9	7	5	3	1	17	14	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	
LB(32)	32	31	31	29	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	

permutation pattern of basic random sequence

Basic Random sequence

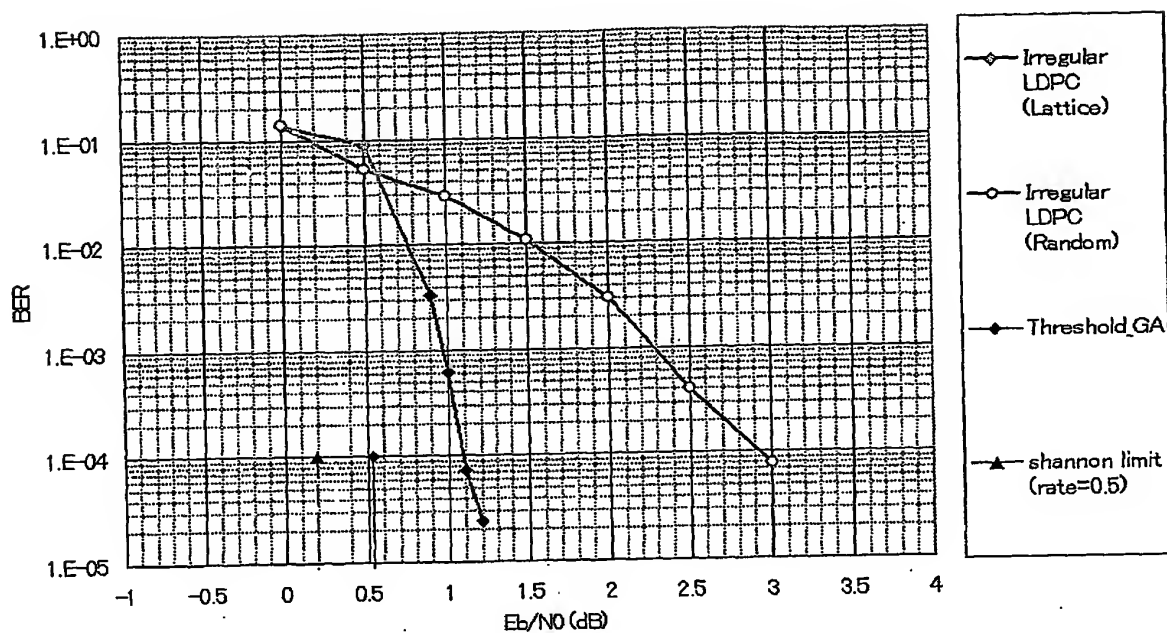
permutation pattern of basic random sequence

Basic Random sequence

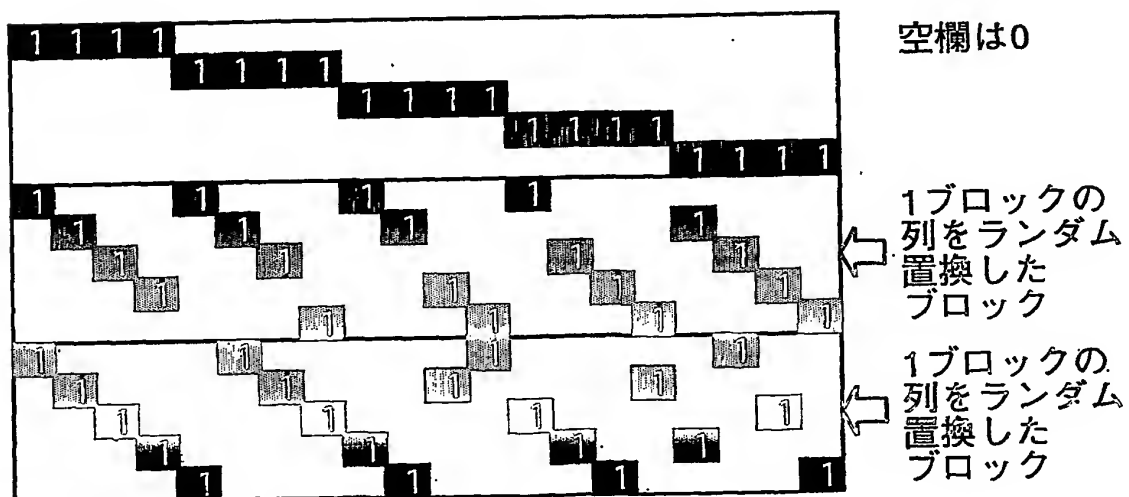
圖 14 第

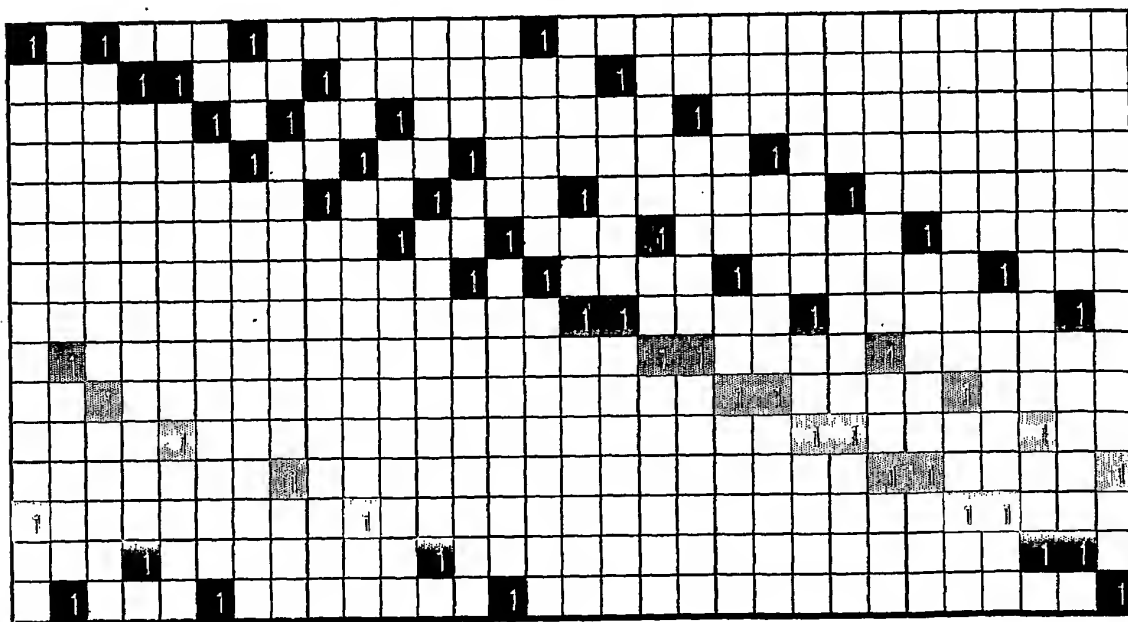
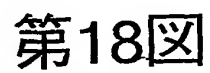
q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
$L_q(1)$	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	
$L_q(2)$	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	
$L_q(3)$	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	
$L_q(4)$	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	
$L_q(5)$	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	
$L_q(6)$	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	
$L_q(7)$	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5
$L_q(8)$	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8
$L_q(9)$	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12
$L_q(10)$	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31
$L_q(11)$	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14
$L_q(12)$	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30
$L_q(13)$	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21
$L_q(14)$	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4
$L_q(15)$	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6
$L_q(16)$	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17
$L_q(17)$	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7
$L_q(18)$	15	28	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15
$L_q(19)$	28	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29
$L_q(20)$	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2
$L_q(21)$	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3
$L_q(22)$	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27
$L_q(23)$	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22
$L_q(24)$	26	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26
$L_q(25)$	18	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18
$L_q(26)$	1	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1
$L_q(27)$	20	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20
$L_q(28)$	32	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32
$L_q(29)$	11	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11
$L_q(30)$	13	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13
$L_q(31)$	19	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19
$L_q(32)$	9	10	16	24	25	28	23	5	8	12	31	14	30	21	4	6	17	7	15	29	2	3	27	22	26	18	1	20	32	11	13	19	9

第15図



第16図





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/002399

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H03M13/09, 13/19

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H03M13/00-13/53Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1996-2004Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
IEICE Transactions Online (LDPC, TEIMITSUDOKENSAFUGO, TEIMITSUDOPARITHI
RANDAMU et al.) (in Japanese) (See extra sheet)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	JP 2003-198383 A (Mitsubishi Electric Corp.), 11 July, 2003 (11.07.03), Full text; all drawings & WO 03/056705 A1	1-13
P, A	JP 2003-115768 A (International Business Machines Corp.), 18 April, 2003 (18.04.03), Full text; all drawings & US 2003/0037298 A1	1-13
A	MATSUMOTO, IMAI: "Ketteironteki Hiseisoku LDPC Fugo Sekkeiho", 2002 Nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Kiso Kyokai Society Taikai, A-6-12, 10-13 September, 2002 (10-13.09.02), page 126	1-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
06 May, 2004 (06.05.04)Date of mailing of the international search report
25 May, 2004 (25.05.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/002399

Continuation of B.

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEEE Xplore (LDPC, Low Density Parity Check, Irregular, et al.)

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H03M13/09, 13/19

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H03M13/00-13/53

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年
日本国登録実用新案公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

IEICE Transactions Online (LDPC, 低密度検査符号, 低密度パリティ, ランダム, 他)
 IEEE Xplore (LDPC, Low Density Parity Check, Irregular, 他)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
PA	JP 2003-198383 A (三菱電機株式会社) 2003.07.11, 全文, 全図 & WO 03/056705 A1	1-13
PA	JP 2003-115768 A (インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション) 2003.04.18, 全文, 全図 & US 2003/0037298 A1	1-13
A	松本, 今井: “決定論的非正則LDPC符号設計法”, 2002年	1-13

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06.05.2004

国際調査報告の発送日

25.5.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

田中 庸介

5K

8529

電話番号 03-3581-1101 内線 3555

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
	電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, A-6-12, 2002.09.10-13, p.126	